

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 1 1 - 1 7 5 7 6 7

(43) 公開日 平成 1 1 年 (1 9 9 9) 7 月 2 日

(51) Int. Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G06T 17/40			G06F 15/62	350 K
G09B 9/00			G09B 9/00	Z

審査請求 未請求 請求項の数 1 9 O L (全 1 7 頁)

(21) 出願番号 特願平 1 0 - 2 6 4 7 8 8

(22) 出願日 平成 1 0 年 (1 9 9 8) 9 月 1 8 日

(31) 優先権主張番号 0 8 / 9 3 3 3 9 3

(32) 優先日 1 9 9 7 年 9 月 1 9 日

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(72) 発明者 サラ・エフ・ギブソン

アメリカ合衆国、マサチューセッツ州、ア
ーリントン、ミスティック・ビュー・テラ
ス 1 5

(74) 代理人 弁理士 會我 道照 (外 6 名)

最終頁に続く

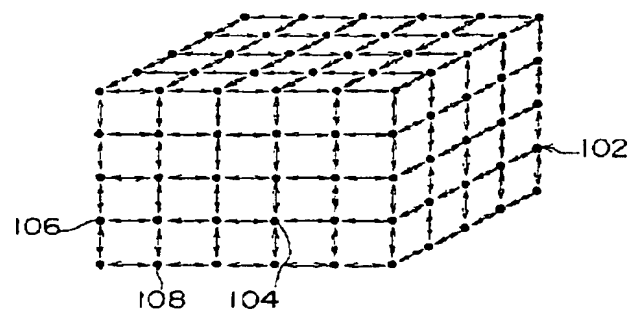
(54) 【発明の名称】 コンピュータにおけるグラフィック表現生成方法

(57) 【要約】

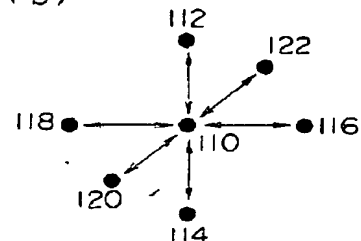
【課題】 グラフィックオブジェクトを表すリンクされた立体表現をオブジェクトの切断、結合、断裂を示す物理的にリアルなモデリング手法と共に提示。

【解決手段】 各の要素は 6 つの最も近い隣接要素と、その要素のデータ構造の中に隣接要素に対するポイントを格納することでリンクできる。2 要素間のリンクは切断ツールのグラフィック表現が要素間を通過した時、2 要素の適当な隣接ポイントを互いに対してでなく NULL 値を示す如くセットすることで切断できる。オブジェクト変形のシミュレーション中、2 要素間のリンクの材料限界値が範囲を超えると 2 要素の適当な隣接ポイントを NULL にセットすることでリンクを断裂できる。密接した 2 立体オブジェクトに結合ツールが用いられると NULL にセットされた相補的隣接ポイントを有する 2 つのオブジェクトのエッジ要素はこれらの欠落した隣接を互いに指示するようにセットされて結合される。

(a)



(b)



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 コンピュータのビデオディスプレイ上でグラフィックとして表示され、シミュレートされたツールを使用して操作できるオブジェクトのグラフィック表現を生成するコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法であって、

メモリ内のマップに、前記マップ内の選択された記憶位置における前記オブジェクトに対応する複数の要素の存在を示す複数個の第 1 インデックスを格納する工程と、少なくとも一組の前記複数の要素の中の各々と関連して、前記オブジェクトのグラフィック表現を形成するために前記一組の要素間のリンクを表現する第 2 インデックスを生成する工程と、

前記マップの前記一組の要素の各々のための前記第 2 インデックスを格納する工程と、

前記メモリ内部の前記マップの内容に基づいて前記オブジェクトのグラフィック表現を前記ビデオディスプレイ上に表示する工程と、

を有することを特徴とするコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法。

【請求項 2】 前記第 2 インデックスの各々が前記一組の要素の相手の値を有することを特徴とする請求項 1 に記載のコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法。

【請求項 3】 ユーザーによってシミュレートされたツールのアプリケーションに応じてコンピュータのディスプレイ上に前記オブジェクトに対する変更を示すグラフィック表現を生成する工程と、

前記表示工程に影響を与えるために前記ユーザー入力に応じて前記第 1 及び第 2 インデックスを操作する工程と、

をさらに含むことを特徴とする請求項 1 に記載のコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法。

【請求項 4】 前記生成工程が、シミュレートされた切断ツールを用いて前記オブジェクトの中を通る経路に沿った 1 本の線描を表すグラフィック表現を表現する第 3 インデックスを生成する工程と、前記マップ内の前記要素の中の選択された要素を示す前記第 1 及び第 2 インデックスに前記第 3 インデックスを相互関連させる工程と、

前記マップ内の前記第 1 及び第 2 インデックスの中の選択されたインデックスを修正し、前記要素の中の選択された要素及びリンクが除去されたことを示す工程と、

を含むことを特徴とする請求項 3 に記載のコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法。

【請求項 5】 前記生成工程が、シミュレートされた溶解ツールを用いて前記ディスプレイ上で前記オブジェクトの中を通る経路に沿った 1 本の線描を表すグラフィック表現を表現する第 3 インデックスを生成する工程と、

前記マップ内の前記要素の中の選択された要素を示す前記第 1 及び第 2 インデックスに前記第 3 インデックスを相互関連させる工程と、

前記相互関連工程に応じて、前記マップ内の選択された位置における前記第 1 及び第 2 インデックスの値を修正する工程と、

を含むことを特徴とする請求項 3 に記載のコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法。

【請求項 6】 前記修正工程が、少なくとも 1 つのリンクに対する前記第 2 インデックスの値を前記相互関連工程に応じて第 1 の値から第 2 の値へ変更し、前記相互関連工程に応じてそれぞれのリンクが弱められていることを示す工程を有することを特徴とする請求項 5 に記載のコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法。

【請求項 7】 前記修正工程が、少なくとも 1 つのリンクに対応する前記マップ内の少なくとも 1 つの記憶位置の値を第 1 の値から第 2 の値へ変更し、前記相互関連工程に応じてそれぞれのリンクが切断されていることを示す工程を有することを特徴とする請求項 5 に記載のコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法。

【請求項 8】 それぞれのリンクへの印加時に、それぞれの閾値を超える力がシミュレーションで示された場合、それぞれのリンクが切断されるようにシミュレートされる力の閾値が前記リンクの中の対応するリンクと関連する前記第 2 インデックスの中の少なくともいくつかに含まれ、

前記生成工程が

前記オブジェクトの選択された要素に印加された力を表す前記コンピュータへのユーザー入力に応じて、前記リンクの少なくともいくつかに印加された力を表現する値を生成する工程と、

前記印加された力を、前記リンクの中の前記少なくともいくつかのそれぞれについての対応する力の閾値と比較する工程と、

この比較工程において印加された力がそれぞれの力の閾値を超えたことが示されるそれぞれのリンクに対して前記第 2 インデックスを第 1 の値から第 2 の値へ変更しそれぞれのリンクが切断されてしまったことを示す工程と、

【請求項 9】 前記リンクの中の対応するリンクと関連する、前記第 2 インデックスの中の少なくともいくつか、それぞれのリンクと関連する距離閾値を含み、

前記オブジェクトの選択された要素に印加された力を表す前記コンピュータへのユーザー入力に応じて、前記それぞれのリンクの長さを表現する値を生成する工程と、それぞれのリンクの前記長さをそれぞれのリンクの各々に対する距離の閾値と比較する工程と、

この比較工程によってそれぞれのリンクの長さが距離の

閾値を超えていることが示されているそれぞれのリンクに対して前記第 2 インデックスを第 1 の値から第 2 の値へ変更し、それぞれのリンクが切断されてしまっていることを示す工程と、

をさらに含むことを特徴とする請求項 3 に記載のコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法。

【請求項 1 0】 前記要素の中の少なくともいくつかの 4 つの隣接要素との関連リンクを有することを特徴とする請求項 1 に記載のコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法。

【請求項 1 1】 前記第 2 インデックス格納工程が更に、前記マップ内の前記要素の中の少なくとも 1 つの要素と 4 つの隣接要素との間のリンクを表現する第 2 インデックスを前記メモリに格納する工程を有することを特徴とする請求項 1 に記載のコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法。

【請求項 1 2】 前記第 2 インデックス格納工程が更に、前記マップ内の前記要素の中の少なくとも 1 つの要素と 6 つの隣接要素との間のリンクを表現する第 2 インデックスを前記メモリに格納し、立体を含む前記オブジェクトの部分のグラフィック表現を形成する工程を有することを特徴とする請求項 1 に記載のコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法。

【請求項 1 3】 前記生成工程が、シミュレートされた結合ツールの経路を表現する前記オブジェクトの中を通る経路のグラフィック表現を前記ディスプレイ上に生成する工程と、

前記経路を前記占有マップ内の前記要素の記憶位置と比較し、前記経路の反対側にリンクされていない隣接要素の対を確認する工程と、

前記リンクされていない隣接要素対に対して、第 1 の値から第 2 の値へ第 2 インデックスを修正し、シミュレートされた結合ツールを間に通過させた結果として以前はリンクしていなかった前記隣接要素対がリンクされていることを示す工程と、

を有することを特徴とする請求項 3 に記載のコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法。

【請求項 1 4】 表示のためのオブジェクト、およびシミュレートされたツールを用いてコンピュータのビデオディスプレイ上でのグラフィック化されたオブジェクトのシミュレートされた操作のグラフィック表現を生成するコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法であって、

前記オブジェクトのそれぞれの要素に対応する複数のデータ構造をメモリに格納する工程であって、前記データ構造の各々が、前記メモリ内のそれぞれの要素の位置及び他の記憶位置に対する複数のポインタを示すデータ表現を有し、前記記憶位置が前記複数の要素の中の他の要素と関連しているものと、

前記複数のデータ構造の中の第 1 のデータ構造の前記ポ

インタの 1 つと関連する前記メモリ内の記憶位置に前記複数のデータ構造の中の第 2 のデータ構造の値を格納し、かつ、前記複数のデータ構造の中の前記第 2 のデータ構造の前記ポインタの 1 つと関連する前記メモリ内の記憶位置に前記複数のデータ構造の中の前記第 1 のデータ構造の値を格納して、前記第 1 及び第 2 要素が前記オブジェクトの内部で一緒にリンクされていることを示す第 2 格納工程と、

前記データ構造の内容に基づいて前記オブジェクトのグラフィック表現を前記ビデオディスプレイ上に表示する工程と、

を有することを特徴とするコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法。

【請求項 1 5】 前記第 2 格納ステップが更に、前記複数のデータ構造の中の前記第 1 のデータ構造の前記ポインタの中の前記ポインタと関連する前記メモリの前記記憶位置、第 1 の値を上書きし、前記複数のデータ構造の中の前記第 2 のデータ構造の前記ポインタの中の前記ポインタと関連する前記メモリの前記記憶位置、第 2 の値を格納する工程を有し、以って前記第 1 及び第 2 の値によって、それぞれの要素が前記要素のもう一方の要素とリンクされていないことが示されることを特徴とする請求項 1 4 に記載のコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法。

【請求項 1 6】 前記第 1 及び第 2 の値が前記要素の他方の要素を識別しない NULL 値を有することを特徴とする請求項 1 5 に記載のコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法。

【請求項 1 7】 前記複数のデータ構造の中の第 1 のデータ構造の前記ポインタの中の 1 つと関連する前記メモリの記憶位置に前記要素のカラーを示すデータを格納する工程を更に含むことを特徴とする請求項 1 4 に記載のコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法。

【請求項 1 8】 前記要素の前記カラーを示す前記データが更に前記カラーを定義する赤、緑、青を表現する値を有することを特徴とする請求項 1 7 に記載のコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法。

【請求項 1 9】 前記ポインタの 1 つと関連する前記メモリの記憶位置に力の閾値を示す値を格納する工程と、前記オブジェクトに対する力のアプリケーションをシミュレートし、前記ポインタの中の少なくとも 1 つに対応するそれぞれのリンク上にシミュレートされた力を生成する工程と、

前記ポインタの中の前記少なくとも 1 つに対応するそれぞれのリンクに対してそれぞれのリンク上のシミュレートされた力が力の閾値を超えている場合、前記複数のデータ構造の少なくとも前記第 2 のデータ構造の前記値を前記メモリから除去する工程と、

を更に有することを特徴とする請求項 1 4 に記載のコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は立体画像グラフィックスに関し、特に、コンピュータグラフィックによる立体の任意の切断経路に沿った切断、任意の形状の立体の任意の面での結合、及び、変形可能な立体モデルが引き裂かれるときの断裂(learing)のモデル化のための、コンピュータにおけるグラフィック表現生成方法に関する。

【0002】

【従来の技術】コンピュータによるシミュレーションは多くのことに適用可能である。そのような適用例の一つとして外科手術シミュレーションがある。外科手術の訓練、教育、外科手術計画に、また、内部手術の補助としてコンピュータによる外科手術シミュレーションを適用することができる。医学教育や医学上の訓練において外科手術シミュレーションを用いることによって、解剖用死体標本に関連するコストを削減することができ、また、実地の場で通常遭遇する様々な種類の病理学的症状や合併症に関する経験が与えられ、訓練の手順を繰り返したりやり直したりすることが可能となる。外科手術計画においては、シミュレータによって患者に対する特定の解剖を含む外科手術の難しい手順又は計画のリハーサルを行うことができる。内部手術においては、コンピュータ・モデリングを用いることにより、患者の解剖についてより全体的な視野をもって狭い外科的分野を広く見渡すことにより手術の進み具合を補助し、例えば、危害が患者に生じ得る領域への侵入に関して警告することにより将来の外科医にガイダンスを提供することもできる。

【0003】ユーザーに対して有用なフィードバックを提供するために、外科用シミュレータは適切なリアリズムを与えなければならない。組織モデルに対する操作が行われたときリアルな反応がなければならない。外科分野について与えられる画像は注目せずにはいられないほどリアルでなければならない。触覚あるいは力によるフィードバックは実生活で経験する力に似せなければならない。なぜなら、触覚は外科手術の重要な手がかりを与えるものであるからである。これらの要件は外科用シミュレータに重要な要求を課すものとなり、特に、軟組織変形、組織切断、断裂あるいは結合のシミュレーションを行う肉体的にリアルなモデル化技術が要求される。

【0004】コンピュータ・モデリングでは、物理的オブジェクトのデジタルモデルは現実世界の行動をシミュレートしたり、予測したりするために操作される。物理学をベースにしたグラフィックスでは、物理法則が用いられ、オブジェクトモデルや柔オブジェクトの変形の間の衝突のような相互作用がモデル化される。物理的にもっともらしいということは、厳密に言えば正確ではないにも拘らず物理的モデリングがリアルである外観を備えていることを意味する。物理的にもっともらしいシミュレ

ーションは、物理的に写実的なシミュレーションに比べると計算上はずっと大まかではあるが、アニメーションや、ハイレベルのデザインや教育のような分野で適用するにはそれで十分であることが多い。

【0005】面ベースのグラフィックスでは、グラフィックオブジェクトは多角形やスプライン曲線パッチのような一組の連続した面要素によって表現される。面ベースのオブジェクトの切断のモデリングは難しい。その理由は、新しい連続面を切断経路に沿って描かなければならないからである。モデルの任意の位置で切断を行う場合、切断平面の作図は極めて困難になる。更に、面モデルではオブジェクト内部が表現されないので切断が写実的に見えるように切断面にわたって切断箇所の内部構造を作り上げなければならない。

【0006】三次元グラフィックス(立体グラフィックス)では、オブジェクトはサンプル値データ要素の三次元配列として表現される。立体モデルではオブジェクト面とオブジェクト内部の双方が表現される。オブジェクト内部が表現されるので、立体変形をモデル化することが可能である(S. Gibson著「3D ChainMail、立体変形高速アルゴリズム」、Proc. CVRMed/MRCAS 97, pp. 369-378, Grenoble, Fr. 1997参照)。また、内部の詳細を利用して切断経路に影響を与えたり(例えば、切断経路がオブジェクト内部の高密度の構造に行き当たった場合)、切断によって曝される面の外観を修正することもできる。

【0007】Galyean & Hughes著「彫刻：対話式立体モデル化技術」、Proc. SIGGRAPH 91, Las Vegas, NV, pp. 267-274, July, 1991; S. Wang & A. Kaufman著「立体彫刻、Proc. 1995 対話式3Dグラフィックスシンポジウム」、Monterey, CA, pp.151-156, May, 1995;

及びR. Avala及びL. Sobierajski著「立体の視覚化のための触覚による対話的方法」、Proc. IEEE Visualization 96, pp.197-204, San Francisco, CA, October, 1996のような人々によって立体の彫刻が行われている。これらの方法では、オブジェクトは、規則的間隔で配置された黒化度値(明暗度値)(intensity values)の静的配列によって表現され、この黒化度は組織の厚さ又はその標本点における材料の量に対応する。(例えば、黒化度1を固体材料又は''フル''標本に該当させ、黒化度0を自由空間に該当させることができる。)立体の彫刻又は編集は彫刻ツールの近くの標本の黒化度値を変更することによって行う。例えば、''彫刻''はツールの下にある配列の要素の黒化度値をゼロにセットする。''溶解''は、ツールが配列要素に対して使われる時間に比例してツールの下でボクセルの黒化度を減少させ、''吹き付け''はツールの下で最大黒化度1までボクセルの黒化度を増大させることにより材料を追加する。

【0008】これらの立体彫刻手法には立体編集及び幾何学的デザインに適用できる可能性がある一方で、黒化度値の結果として生じる配列には物体らしさという物理

的感觉が欠けていることに留意することは重要である。ひとたび立体の残りの部分から配列のピースが「彫刻」され取り除かれると、それらのピースは個々のオブジェクトとして操作することはできなくなる。材料が創出され跡形もなく分解される結果これらを用いても実際の彫刻を写実的にモデル化したものとはなくなる。更に、変形可能な材料を彫刻するためにこの表現をどのように拡大できるかがはっきりしない。

【0009】有限要素法を用いて変形可能なオブジェクトをモデル化することができる。三次元的方法と同様、有限要素法では三次元メッシュ節点を用いられる。離散モデル中のノード数に比例する次元数をもつ同時的常微分方程式の大きな系を解くことによって、これらのシステムの力学を予測することができる。有限要素法は物理的に写実的な行動を与えるが、計算量は膨大になる。更に、三次元メッシュの任意の切断にはモデルの再メッシュ化が必要となる。この再メッシュ化は正確なシミュレーションにとって必要である。なぜなら、より小さなメッシュが高い応力点(例えばナイフの先端)で必要となるからである。

【0010】「非弾性変形モデリング：粘弾性、可塑性、フラクチャ」(Proc. SIGGRAPH88, コンピュータグラフィクス, Vol. 22, pp. 269-278, 1988)において, TerzopoulosとFleischerは、変形可能組織の離散メッシュ表現のフラクチャリングをモデル化している。しかし、彼らのモデルでは、フラクチャリングは、2つのリンクされた要素間の連結をはっきりと除去する本発明の主題とは異なり、材料特性重みづけ関数を特定のメッシュノードにおいてゼロにする結果から生じるものである。

【0011】立体のモデリング、切断又は断裂は面ベースの表現については難しい。それは、任意のナイフ経路に沿って新しい面を作図しなければならないからである。更に、面ベースのモデルはオブジェクト内部が表現されていないので、これらのモデルによる切断又は断裂には、切断面のカラーや手触りを出すために内部構造を作り上げる必要がある。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】従来の立体彫刻方法すなわちコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法ではオブジェクトは黒化度値を示す静的三次元配列であると仮定されている。材料の追加又は除去を表現するためにこれらの黒化度値は増減されるが、切断、断裂又は結合という行動を物理的にシミュレートする方法はない。創出され、切り離され、結合されるオブジェクトには物理学ベースのモデリングに使用できる物理的性質は備わっていない。

【0013】本発明によって、任意の面におけるオブジェクトの切断、オブジェクトの断裂又はオブジェクトの結合のような、オブジェクトとの相互作用を示す物理的

にもっともらしいモデルを生成するコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法を提供する。

【0014】オブジェクト表現の操作を容易にする手法とともにオブジェクト表現を開示し、オブジェクトの切断、断裂及び結合のような手順をモデル化することができるようにする。これらの行動のシミュレーションは物理的に写実的なモデリングにとって重要であり、外科的シミュレーション、アニメーションや縫製用衣服のモデリングのような分野に適用できる。

10 【0015】

【課題を解決するための手段】本発明は、コンピュータのビデオディスプレイ上でグラフィックとして表示され、シミュレートされたツールを使用して操作できるオブジェクトのグラフィック表現を生成するコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法であって、メモリ内のマップに、前記マップ内の選択された記憶位置における前記オブジェクトに対応する複数の要素の存在を示す複数の第1インデックスを格納する工程と、少なくとも一組の前記複数の要素の中の各々と関連して、前記オブジェクトのグラフィック表現を形成するために前記一組の要素間のリンクを表現する第2インデックスを生成する工程と、前記マップの前記一組の要素の各々のための前記第2インデックスを格納する工程と、前記メモリ内部の前記マップの内容に基づいて前記オブジェクトのグラフィック表現を前記ビデオディスプレイ上に表示する工程と、を有することを特徴とするコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法にある。

20 【0016】また、前記第2インデックスの各々が前記一組の要素の相手の値を有することを特徴とするコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法にある。

30 【0017】また、ユーザーによってシミュレートされたツールのアプリケーションに応じてコンピュータのディスプレイ上に前記オブジェクトに対する変更を示すグラフィック表現を生成する工程と、前記表示工程に影響を与えるために前記ユーザー入力に応じて前記第1及び第2インデックスを操作する工程と、をさらに含むことを特徴とするコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法にある。

40 【0018】また、前記生成工程が、シミュレートされた切断ツールを用いて前記オブジェクトの中を通る経路に沿った1本の線描を表すグラフィック表現を表現する第3インデックスを生成する工程と、前記マップ内の前記要素の中の選択された要素を示す前記第1及び第2インデックスに前記第3インデックスを相互関連させる工程と、前記マップ内の前記第1及び第2インデックスの中の選択されたインデックスを修正し、前記要素の中の選択された要素及びリンクが除去されたことを示す工程と、を含むことを特徴とするコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法にある。

50 【0019】また、前記生成工程が、シミュレートされ

た溶解ツールを用いて前記ディスプレイ上で前記オブジェクトの中を通る経路に沿った 1 本の線描を表すグラフィック表現を表現する第 3 インデックスを生成する工程と、前記マップ内の前記要素の中の選択された要素を示す前記第 1 及び第 2 インデックスに前記第 3 インデックスを相互関連させる工程と、前記相互関連工程に応じて、前記マップ内の選択された位置における前記第 1 及び第 2 インデックスの値を修正する工程と、を含むことを特徴とするコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法にある。

【0020】また、前記修正工程が、少なくとも 1 つのリンクに対する前記第 2 インデックスの値を前記相互関連工程に応じて第 1 の値から第 2 の値へ変更し、前記相互関連工程に応じてそれぞれのリンクが弱められていることを示す工程を有することを特徴とするコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法にある。

【0021】また、前記修正工程が、少なくとも 1 つのリンクに対応する前記マップ内の少なくとも 1 つの記憶位置の値を第 1 の値から第 2 の値へ変更し、前記相互関連工程に応じてそれぞれのリンクが切断されていることを示す工程を有することを特徴とするコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法にある。

【0022】また、それぞれのリンクへの印加時に、それぞれの閾値を超える力がシミュレーションで示された場合、それぞれのリンクが切断されるようにシミュレートされる力の閾値が前記リンクの中の対応するリンクと関連する前記第 2 インデックスの中の少なくともいくつかに含まれ、前記生成工程が前記オブジェクトの選択された要素に印加された力を表す前記コンピュータへのユーザー入力に応じて、前記リンクの少なくともいくつかに印加された力を表現する値を生成する工程と、前記印加された力を、前記リンクの中の前記少なくともいくつかのそれぞれについての対応する力の閾値と比較する工程と、この比較工程において印加された力がそれぞれの力の閾値を超えたことが示されるそれぞれのリンクに対して前記第 2 インデックスを第 1 の値から第 2 の値へ変更しそれぞれのリンクが切断されてしまったことを示す工程と、を含むことを特徴とするコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法にある。

【0023】また、前記リンクの中の対応するリンクと関連する、前記第 2 インデックスの中の少なくともいくつか、それぞれのリンクと関連する距離閾値を含み、前記オブジェクトの選択された要素に印加された力を表す前記コンピュータへのユーザー入力に応じて、前記それぞれのリンクの長さを表現する値を生成する工程と、それぞれのリンクの前記長さをそれぞれのリンクの各々に対する距離の閾値と比較する工程と、この比較工程によってそれぞれのリンクの長さが距離の閾値を超えていることが示されているそれぞれのリンクに対して前記第 2 インデックスを第 1 の値から第 2 の値へ変更し、それ

ぞれのリンクが切断されてしまっていることを示す工程と、をさらに含むことを特徴とするコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法にある。

【0024】また、前記要素の中の少なくともいくつかは 4 つの隣接要素との関連リンクを有することを特徴とするコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法にある。

【0025】また、前記第 2 インデックス格納工程が更に、前記マップ内の前記要素の中の少なくとも 1 つの要素と 4 つの隣接要素との間のリンクを表現する第 2 インデックスを前記メモリに格納する工程を有することを特徴とするコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法にある。

【0026】また、前記第 2 インデックス格納工程が更に、前記マップ内の前記要素の中の少なくとも 1 つの要素と 6 つの隣接要素との間のリンクを表現する第 2 インデックスを前記メモリに格納し、立体を含む前記オブジェクトの部分のグラフィック表現を形成する工程を有することを特徴とするコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法にある。

【0027】また、前記生成工程が、シミュレートされた結合ツールの経路を表現する前記オブジェクトの中を通る経路のグラフィック表現を前記ディスプレイ上に生成する工程と、前記経路を前記占有マップ内の前記要素の記憶位置と比較し、前記経路の反対側にリンクされていない隣接要素の対を確認する工程と、前記リンクされていない隣接要素対に対して、第 1 の値から第 2 の値へ第 2 インデックスを修正し、シミュレートされた結合ツールを間に通過させた結果として以前はリンクしていなかった前記隣接要素対がリンクされていることを示す工程と、を有することを特徴とするコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法にある。

【0028】また、表示のためのオブジェクト、およびシミュレートされたツールを用いてコンピュータのビデオディスプレイ上でのグラフィック化されたオブジェクトのシミュレートされた操作のグラフィック表現を生成するコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法であって、前記オブジェクトのそれぞれの要素に対応する複数のデータ構造をメモリに格納する工程であって、前記データ構造の各々が、前記メモリ内のそれぞれの要素の位置及び他の記憶位置に対する複数のポイントを示すデータ表現を有し、前記記憶位置が前記複数の要素の中の他の要素と関連しているものと、前記複数のデータ構造の中の第 1 のデータ構造の前記ポイントの 1 つと関連する前記メモリ内の記憶位置に前記複数のデータ構造の中の第 2 のデータ構造の値を格納し、かつ、前記複数のデータ構造の中の前記第 2 のデータ構造の前記ポイントの 1 つと関連する前記メモリ内の記憶位置に前記複数のデータ構造の中の前記第 1 のデータ構造の値を格納して、前記第 1 及び第 2 要素が前記オブジェクトの内部

で一緒にリンクされていることを示す第2格納工程と、前記データ構造の内容に基づいて前記オブジェクトのグラフィック表現を前記ビデオディスプレイ上に表示する工程と、を有することを特徴とするコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法にある。

【0029】また、前記第2格納ステップが更に、前記複数のデータ構造の中の前記第1のデータ構造の前記ポイントの中の前記ポイントと関連する前記メモリの前記記憶位置、第1の値を上書きし、前記複数のデータ構造の中の前記第2のデータ構造の前記ポイントの中の前記ポイントと関連する前記メモリの前記記憶位置、第2の値を格納する工程を有し、以って前記第1及び第2の値によって、それぞれの要素が前記要素のもう一方の要素とリンクされていないことが示されることを特徴とするコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法にある。

【0030】また、前記第1及び第2の値が前記要素の他方の要素を識別しないNULL値を有することを特徴とするコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法にある。

【0031】また、前記複数のデータ構造の中の第1のデータ構造の前記ポイントの中の1つと関連する前記メモリの記憶位置に前記要素のカラーを示すデータを格納する工程を更に含むことを特徴とするコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法にある。

【0032】また、前記要素の前記カラーを示す前記データが更に前記カラーを定義する赤、緑、青を表現する値を有することを特徴とするコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法にある。

【0033】また、前記ポイントの1つと関連する前記メモリの記憶位置に力の閾値を示す値を格納する工程と、前記オブジェクトに対する力のアプリケーションをシミュレートし、前記ポイントの中の少なくとも1つに対応するそれぞれのリンク上にシミュレートされた力を生成する工程と、前記ポイントの中の前記少なくとも1つに対応するそれぞれのリンクに対してそれぞれのリンク上のシミュレートされた力が力の閾値を超えている場合、前記複数のデータ構造の少なくとも前記第2のデータ構造の前記値を前記メモリから除去する工程と、を更に有することを特徴とするコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法にある。

【0034】現在開示されているモデル化技術では、隣接要素間でリンクを連結することで立体モデルを大きくしている。対話式オブジェクト操作手法はこの表現を用いて、切断ツールや結合ツールのようなシミュレートされたツールによって横断経路に従ってリンクを創出したリ破壊することが可能になる。これらの手法によってオブジェクトの切断、断裂及び結合の物理的にもっともらしいシミュレーションが可能になる。

【0035】オブジェクト表現の中に内部構造が格納さ

れているので、立体の表現を用いて切断又は断裂によって頭になる内部構造を作りだす必要はない。リンクされた要素の配列としてオブジェクトを表現することによって、オブジェクトは実際の材料の持つ特性を帯びることが可能になる。すなわち、力が加わったときオブジェクトを変形し、切り離されたオブジェクトを2つの別々のオブジェクトとして個々に操作し、指定限界を超えてオブジェクトが引き伸ばされて分離したときオブジェクトの断裂を操作し、別々のオブジェクトを任意の点又は面で結合することが可能となる。

【0036】本発明は、関連図面とともに以下の本発明の実施の態様を参考にすることにより十分に理解できるであろう。

【0037】

【発明の実施の形態】図1でわかるように、グラフィックオブジェクトの切断、断裂及び結合のためのシステムには、シミュレーションを視覚化するためのコンピュータモニター2、モニター2に表示されたオブジェクト8を制御するためのキーボード4及び/他の入力装置6の少なくともいずれか一方、切断ツール10のような処理ツール10及びコンピュータ12が含まれる。

【0038】図2の(a)は、グラフィックツール18を使用したトレーシング経路16に沿うグラフィックオブジェクト14の切断を例示する。図2の(b)は、グラフィックツール18でスライス後の図2の(a)のオブジェクトを例示する。面ベースのオブジェクトの場合結果としてそれぞれ第1及び第2の中空のピース20と22が生じるが、そのピースに対してオブジェクトの切断の結果として創出される面を生成しなければならない。

【0039】図3の(a)に、隣接面パッチ、例えばパッチ26、28、30により面ベースのオブジェクト24が表現されている。グラフィック切断ツール34によって経路32に沿ってこのオブジェクトがスライスされると図3の(b)に示すように新しい目に見える面36を創出しなければならない。この新しい面36は、グラフィックツール34の切断経路32によって決定される面上にある新しい隣接面パッチ、例えば図3の(c)に示す38、40、42によって定義される。この切断面に対して良好な一組の面パッチを定義することは難しい。更に、この切断によって、例えば図3の(b)に示す44、46のような小さな不規則な次善の面パッチピースが元の古いオブジェクト面上に残る可能性がある。更に、オブジェクトの内部が元のオブジェクトに表現されていないので、切断面の面パッチのカラー及び他の特性を作り出さなければならない。

【0040】図4では、彫刻用立体データのための先行技術による方法は、そのデータが三次元要素からなる規則的な、静的ブロック48、例えば三次元ブロック50、52、54、56及び58(各要素に黒化度値(明暗度値)が割り当てられている)から成ることを前提として

いる。黒化度 1 はその要素がフルである(例えば要素 5 0 及び 5 2)ことを意味し、一方黒化度ゼロはその要素がエンブティである(例えば要素 5 4 と 5 6)ことを示す。0 と 1 との間の黒化度は部分的フル要素(例えば三次元ブロック 5 8)を示す。この“フルの割合”は、モデル化されたオブジェクトあるいはオブジェクト材料を構成するそれぞれのブロックの断片の材料の黒化度に対応して定義することができる。

【0 0 4 1】図 5 でわかるように、彫刻用立体データのための先行技術による方法では例示の彫刻ツールのような立体ツールが用いられることが多い。このようなモデルでは、ツールが存在する立体(例えば 6 0)の要素は黒化度 1 を持ち、ツールが存在しない立体(例えば 6 2)の要素は黒化度 0 を持つ。したがって、このツールは本質的には、作業オブジェクトを修正するために関心のあるグラフィック作業オブジェクトの中を通過するオブジェクトである。修正は、シミュレートされたツールが作業オブジェクトの中を通過するときオブジェクト内部の相関的位置で作業オブジェクトの値からツールの値を差し引くことによって行うことができる。このツールは、作業オブジェクトの中をツールが通過した後作業オブジェクトの部分的フルブロックに結果としてなる可能性のある部分的フル要素を持つ場合もある。

【0 0 4 2】図 6 の(a)に、彫刻用立体データのための先行技術による方法の二次元バージョンによって、フル要素(例えば 6 6)とエンブティ要素(例えば 6 8)をもつ二次元ツール 6 4、及び黒化度値を示す静的配列 7 0 が示されている。

【0 0 4 3】図 6 の(b)では、切断ツール 7 2 が切断経路 7 4 に沿って配列 7 0 の中を通り抜け、切断ツール経路 7 4 に沿って存在する全ての要素の黒化度がゼロにセットされている(例えばブロック 7 6、7 8)。

【0 0 4 4】図 7 の(a)では、溶解ツール 8 0 が溶解経路 8 2 に沿って配列 7 0 の中を通り抜け、溶解経路に沿って溶解ツールの下にある全ての要素の黒化度は部分的フルからエンブティへ(例えばブロック 8 4)あるいはフルから部分的フル(例えば 8 6)へ減少している。

【0 0 4 5】図 7 の(b)では、吹き付けツール 8 8 が吹き付け経路 9 0 に沿って配列 7 0 の中を通り抜け、吹き付けツールの経路に沿って存在する全ての要素の黒化度はエンブティから部分的フル(例えば 9 2)へ、また部分的フルからフルへ(例えば 9 4)増加している。

【0 0 4 6】図 8 に描かれているように彫刻用立体データのための先行技術による方法では、非エンブティ要素の別々のクラスタ(例えば 9 6 及び 9 8)が創出されることが知られている。しかし、これらのクラスタは同じ静的データ配列 1 0 0 の一部のみであり、これらのクラスタを別々のオブジェクトと考えるための、また、そのようなクラスタ間の相互作用をシミュレートするための手段は提供されていない。

【0 0 4 7】本発明によって、図 9 の(a)に描かれているように、オブジェクトは、複数個のリンクされた要素(例えば 1 0 4、1 0 6、1 0 8 など)を含む立体配列 1 0 2 として表現される。もっと具体的に言えば、図 9 の(b)に見られるように、要素 1 1 0 は、上部隣接要素 1 1 2、底部隣接要素 1 1 4、右部隣接要素 1 1 6、左部隣接要素 1 1 8、前部隣接要素 1 2 0 及び後部隣接要素 1 2 2 から成るその 6 つのもっとも近い隣接要素にリンクされている。

【0 0 4 8】図 1 0 に、C コンピュータ言語による典型的データ構造を例示する。但し、適切なプログラミング言語で書かれた適切なデータ構造であればどのようなデータ構造を用いてもかまわない。このデータ構造にはまず、定義された要素を表す X、Y 及び Z 座標を指定する“フロート”構造形式のインデックスが含まれる(図 1 0 の 1 0 5 参照)。従って、個々の要素を任意の位置に配置すればよく、所定のマトリックス上に画一的な間隔で配置する必要はない。この典型的データ構造には要素のカラーのインデックスも含まれる。もっと具体的に言えば、C 言語の“char”構造によって 8 ビット値が指定される。これによって、要素カラー種別の赤、緑及び青の内容をこれらの変数に割り当てた値に基づく混合として指定することができる(図 1 0 の 1 0 3 参照)。このデータ構造は更に筋肉、骨、皮膚、靱帯、軟骨などのような関連組織の定義から成る“種別(type)”を“char”構造として指定する(図 1 0 の 1 0 1 参照)。最後に、これらの要素の各々を表すデータ構造には隣接要素のポインタ、あるいは、隣接要素に関してリンクが創出されていないことを示す NULL インディケータが含まれる。もっと具体的に言えば各ポインタによって、隣接リンク要素のインデックスのような情報を含み、またそれぞれのリンク、変形係数などの破損限界値を含むことができるアドレスが同定される。ポインタの各々に関連するデータには、印加された力に対する伸び、破損限界値などのようなそれぞれのリンクの特性を定義する基準を含めることもできる。各々の要素にはそのもっとも近い隣接要素の数に対する明白なポインタが含まれる。本発明で開示された実施の形態では、データ構造の中に、6 つまでのもっとも近い隣接要素に対するポインタが含まれる。これらのポインタは、この典型的データ構造では、* 右、* 左、* 上部、* 底部、* 後部及び * 前部として同定される(図 1 0 の 1 0 7 参照)。各々の要素内の多くの異なる属性を符号化できる能力によって異なる材料、構造及び行動のモデリングが可能になる。例えば、図 1 0 のデータ構造では、ある要素とその右隣の要素との間の連結は適当な隣接ポインタを NULL にセットすることによって断ち切ることができる。同様に、ある要素とその隣接要素の 1 つは、その適当な隣接ポインタを互いに指示し合うようにセットすることによって結合することができる。

【0049】図11に、立体グラフィックオブジェクトを操作するためのグラフィックシステムのフローチャートを示す。このシステムはユーザー入力126を待つユーザー・インターフェースから成る。ユーザー入力が発出されると、そのような入力は、質問ステップ136、138、140、142にそれぞれ例示されているようにそれが切断ツール、結合ツール、変形ツール、あるいは、彫刻ツール、翻訳ツール、指示ツールなどのような他の定義されたツールのいずれであるかがチェックされる。ツールが切断ツール136であれば、以下の関連図12～14により詳しく説明されているように切断手順が起動される。結合ツールであれば、関連図15～16により詳しく説明されているように結合手順が起動される。ツールが変形ツールであれば、関連図17～18により詳しく説明されているように変形手順が起動される。もし変形の間、質問ステップ135に述べられているように材料限界値がその限界を超える場合にはステップ136に例示されているように断裂手順144が起動される。本明細書に説明されている以外の典型的ツールを用いることもできる。

【0050】図12は、本発明による切断手順のフローチャートを描いたものである。まず、場面においてグラフィックオブジェクトによって占有されている空間の離散的表現である占有マップがステップ148に書かれているようにクリアされて初期化される。ステップ150に例示されているようにオブジェクト要素が占有マップ中へマップされ、次いでステップ152に示すように占有マップの要素間の連結マップが創出される。質問ステップ154に対する肯定応答に反映されているようにナイフの動きが発出されると、ステップ156に例示されているようにナイフの経路の下に占有マップの要素又は連結ラインのチェックが行われる。質問ステップ158に対する肯定応答によって反映されるように連結ラインと出会うと、ステップ160に述べられているように、連結された要素の適当なポイントをNULLにセットすることにより、連結リンクは除去される。質問ステップ158に対する否定応答に反映されているように連結ラインと出会わなかった場合は、質問ステップ162にあるように何らかの要素と出会ったかどうかについて更に質問がなされる。質問ステップ162に対する肯定応答に反映されているように何らかの要素と出会った場合には、その要素は占有マップから除去され、ステップ164に述べられているようにその要素の隣接要素の全てに対する適当なポイントがNULLにセットされる。いったん切断が完了すると、ステップ166に例示されているように占有マップは更新され、システムは別のナイフの動きを検出したかどうかをチェックする。すなわち制御が再び質問ステップ154へ移る。切断行動以外の行動が発出された場合には、ステップ170に述べられているように検出された行動に対応する処理ルーチンが起

動される(ステップ171)。

【0051】図13の(a)に、リンクされた要素(例えば174)から成る二次元配列172が、切断ツール178の経路176と共に描かれている。図13の(b)に、切断の結果として生じた別々のリンクされたオブジェクト180と182が描かれている。

【0052】図14の(a)に、リンクされた要素の二次元配列と切断ツールの切断経路184とが描かれている。図14の(b)に、占有マップ186が切断経路187と重ねられて描かれている。オブジェクトの要素は黒いセル(例えば188と190)としてマップされ、隣接要素を連結する線は、線描アルゴリズムを用いて明るいセル(例えば192と194)としてマップされている。切断経路187と交差する占有セル(例えば196と198)は丸印で示されている。これらの交差は、どの要素又は連結リンクをオブジェクトモデルから除去しなければならないかを示すものである。

【0053】図14の(c)に、占有マップから派生した、第1と第2オブジェクトピース200と202から成る結果として生じたオブジェクトを例示する。

【0054】図15は、本発明によって開示された立体表現を用いて立体を結合する手法を例示するフローチャートである。ステップ206に例示されているように占有マップはメモリーをクリアすることによって初期化される。次いで、ステップ208に述べられているように、オブジェクト要素が占有マップ中へマップされる。質問ステップ210に対する肯定応答によって反映されるように結合ツールの動きが発出されると、ステップ211に示されるように結合ツール経路によるセル交差が確認される。ステップ212に例示されるように、結合ツール経路に沿った占有マップの位置が、NULL隣接ポイントを持つエッジ要素を求めて検索される。エッジ要素は、NULL値(又は「連結なし」の指示を与える任意の値)を有する隣接ポイントを持つものとして定義される。質問ステップ216に対する否定応答によって反映されているようにもしエッジ要素が発見されなければ、制御はステップ210へ移り、システムは更なるツールの動きを待つ。質問ステップ216に対する肯定応答に反映されているように、もし結合ツールの経路に沿ってエッジ要素が発出されれば、ステップ218に例示されるように対応する欠落した隣接を有する隣接要素を求めてエッジ要素が検索される。質問ステップ220に対する否定応答に反映されているように、マッチするものが発見されなければ、ステップ210へ制御は移り、システムは更なるツールの動きを待つ。質問ステップ220に対する肯定応答によって反映されているように、もしマッチするものが発見されれば、ステップ224に述べられているように、その適当な隣接ポイントを互いに指示し合うようにセットすることによってマッチした要素間で新しいリンクが創出される。結合される要素の

ために新しいリンクが作られた後、ステップ 2 1 0 へ制御は移り、システムは更なるツールの動きを待つ。質問ステップ 2 3 0 に対する肯定応答によって反映されているように、もし結合ツールの動きが検出されず、別の入力行動が検出された場合には結合手順は終了となり、その別の入力行動を処理する処理ルーチンが起動される。

【0055】図 1 6 の(a)に、二次元リンクされたオブジェクト 2 3 2 と 2 3 4 が密着して描かれている。結合ツールの下領域が点線状の輪郭 2 3 6 によって描かれている。図 1 6 の(b)に、対応する欠落した隣接を持っていたこの 2 つのオブジェクトのエッジポイントをマッチさせることによって作られた 2 つの新しいリンク 2 3 8 と 2 4 0 が示されている。

【0056】変形オブジェクトを断裂する手法を示すフローチャートが図 1 7 に描かれている。ステップ 2 4 4 に述べられているように、オブジェクトを変形するとき、質問ステップ 2 4 6 によって例示されているように材料限界値を超えているかどうかの判定のためにリンクがテストされる。質問ステップ 2 4 6 に対する肯定応答によって反映されているように、もし材料限界値を超えている場合には、ステップ 2 5 0 によって例示されているようにオブジェクトは断裂する。もっと具体的に言えば、連結された要素の適当な隣接ポイントを N U L L にセットすることによって占有マップの材料限界値を超えた場所で連結は断ち切られる。

【0057】図 1 8 の(a)~(d)に、二次元リンクされた要素オブジェクトの断裂が描かれている。図 1 8 の(a)には、2 つの力 2 5 2 と 2 5 4 が、一般的に 2 5 6 と命名したオブジェクトの 2 つの上部コーナーの反対方向に加えられている。図 1 8 の(b)では、オブジェクトは要素 2 5 8 と 2 6 0 との間のリンクの最大限界値まで引き伸ばされている。リンクを断ち切る力の形であるいは距離の閾値としてこの限界値を確定することもできる。もし連結された要素間の距離が距離閾値を超えていればリンクは断ち切られると考えられる。図 1 8 の(c)では、隣接要素 2 5 8 と 2 6 0 との間、及び 2 6 2 と 2 6 4 との間の連結リンクは断ち切られている。図 1 8 の(d)では、オブジェクトは断裂して 2 つの別々のピース 2 6 6 と 2 6 8 になっている。

【0058】本発明で開示された、グラフィックオブジェクトのモデル化の手法、及びオブジェクトの切断、結合及び断裂によって生成されるようなオブジェクトの操作シミュレーション手法の変形及び修正を行うことは、本出願に開示された発明の概念から逸脱しなければ可能であるということは当業者にとって明らかである。従って、本出願に開示する本発明は、典型的実施の形態に限定されるものではなく、添付の特許請求の範囲と精神によってのみ限定されるものである。

【0059】

【発明の効果】本発明によるコンピュータにおけるグラ

フィック表現生成方法では、1 つの実施の形態として、各々の要素は 6 つのもっとも近い隣接要素と、その要素のデータ構造の中にそれらの隣接要素に対するポインタを格納することによって、明白にリンクすることができる。2 つの要素間のリンクは、切断ツールのグラフィック表現が要素の間を通過した時、2 つの要素の適当な隣接ポイントを互いに対してでなく N U L L 値を示すようにセットすることで切断することができる。オブジェクト変形のシミュレーション中 2 つの要素間のリンクの材料限界値がその範囲を超えると、2 つの要素の適当な隣接ポイントを N U L L にセットすることによりリンクを断裂することができる。密接した 2 つの立体オブジェクトに対して結合ツールが用いられると、N U L L にセットされた相補的隣接ポイントを有する 2 つのオブジェクトのエッジ要素は、これらの欠落した隣接を互いに指示するようにセットすることによって結合することができる。これにより、グラフィックオブジェクトを表すリンクされた立体表現を、オブジェクトの切断、結合及び断裂を示す物理的にもっともらしいモデリング手法と共に提示することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 グラフィックオブジェクトの彫刻、断裂又は結合をシミュレートするためのシステムの概略図である。

【図 2】 (a) はグラフィック切断ツールの三次元グラフィックオブジェクト及び切断経路の概略図、(b) は凹面ベースのグラフィックオブジェクトが切断されたときその結果としてできるオブジェクトの概略図である。

【図 3】 (a) は面ベースのオブジェクトを表現するために用いられる面パッチの図、(b) は切断されたグラフィックオブジェクト上に重ねられた切断ツールによる切断結果を示す面を示す図、(c) は面パッチに分割後の切断ツールの切断面を示す図である。

【図 4】 従来の標本化された黒化度値の三次元配列によって表現された立体を示す図である。

【図 5】 従来の立体デジタル切断ツールを示す図である。

【図 6】 (a) は標本化された黒化度値の配列の二次元描写図及びデジタル切断ツールの二次元描写図、(b) は指示された経路に沿って彫刻ツールをドラッグした結果図である。

【図 7】 (a) は指示された経路に沿って溶解ツールをドラッグした結果図、(b) は指示された経路に沿って吹き付けツールをドラッグした結果図である。

【図 8】 従来の別々のオブジェクトクラスに配列されているが同じデータ配列に属する標本化された黒化度値の二次元配列の概略図である。

【図 9】 (a) データ配列の各オブジェクトがその隣接要素に対する明白なリンクを含むこの発明のコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法によるオブジェク

ト表現の一例を示す図、(b)は(a)における6つの最も近い隣接要素に三次元要素がリンクしている一例を示す図である。

【図 1 0】 この発明のコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法におけるリンクされた立体の C プログラミング言語で書かれた典型的データ構造を示す図である。

【図 1 1】 この発明のコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法におけるオブジェクトの切断、結合及び断裂を可能にする立体グラフィックオブジェクトを操作するためのシステムの概略を示すフローチャート図である。

【図 1 2】 この発明のコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法におけるリンクされた立体の切断手順の概略を示すフローチャート図である。

【図 1 3】 (a)はこの発明のコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法におけるリンクされた要素の二次元配列及び切断ツールの経路について説明するための図、(b)は所定の切断経路から結果として生じた2つの同様の要素オブジェクトを描写した図である。

【図 1 4】 (a)はこの発明のコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法におけるリンクされた要素の二次元配列及び切断ツールの経路について説明するための図、(b)はオブジェクト要素間の衝突、連結リンク、及び切断経路が検出された空間を表現した図、(c)は所定の切断経路に沿って切り離された結果生じたオブジェクトを示す。

【図 1 5】 この発明のコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法における2つのリンクした立体を結合する手順の概略を示すフローチャート図である。

【図 1 6】 (a)はこの発明のコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法における互いに近くに配置された2つの異なる二次元リンクオブジェクト及び結合用コンポーネントが加えられた領域を描いた図、(b)は2つのグラフィックオブジェクトを結合するために形成され

た新しいリンクを示す図である。

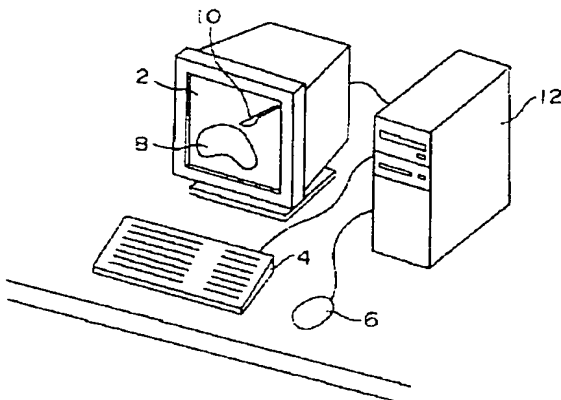
【図 1 7】 この発明のコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法におけるオブジェクト変形中にオブジェクトを断裂する手順の概略を示すフローチャート図である。

【図 1 8】 (a)はこの発明のコンピュータにおけるグラフィック表現生成方法におけるリンクされた要素の二次元配列及びオブジェクトを引っ張って分離するためにオブジェクトの上部コーナーに加えられた力を描写した図、(b)はコーナーに加えられた力によって引き伸ばされ分離しているオブジェクトを示す図、(c)は2組の近接要素間のリンク距離が材料限界値を超えたところで形成され始めている断裂を示す図、(d)は断裂の完了後の断裂したオブジェクトの2つの別々のピースを示す図である。

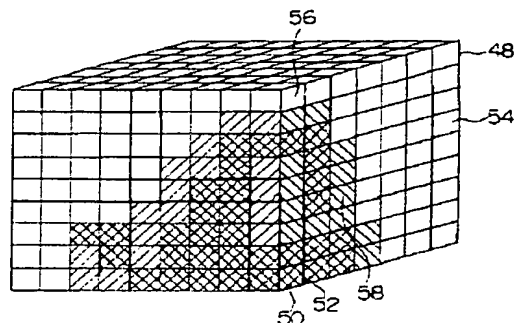
【符号の説明】

2 コンピュータモニター、4 キーボード、6 入力装置、8 オブジェクト、10、178 切断ツール、12 コンピュータ、14 グラフィックオブジェクト、16 トレーシング経路、18 グラフィックツール、20、22、266、268 ピース、24、180、182、232、234、256 オブジェクト、26、28、30 パッチ、32、176 経路、34 グラフィックツール、36 新しい面、38、40、42 隣接面パッチ、44、46 面パッチピース、102 立体配列、104、106、108、110、174 要素、112 上部隣接要素、114 底部隣接要素、116 右部隣接要素、118 左部隣接要素、120 前部隣接要素、122 後部隣接要素、172 二次元配列、184、187 切断経路、186 占有マップ、188、190、192、194 セル、196、198 占有セル、200、202 オブジェクトピース、238、240 新しいリンク、252、254 力、258、260、262、264 隣接要素。

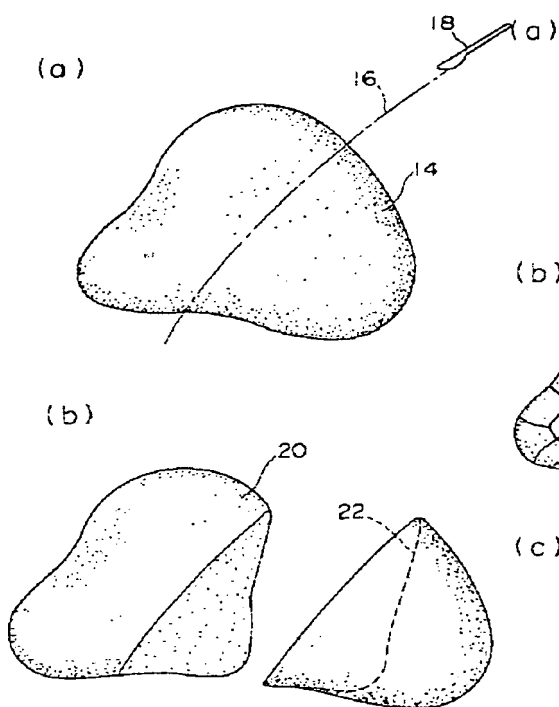
【図 1】



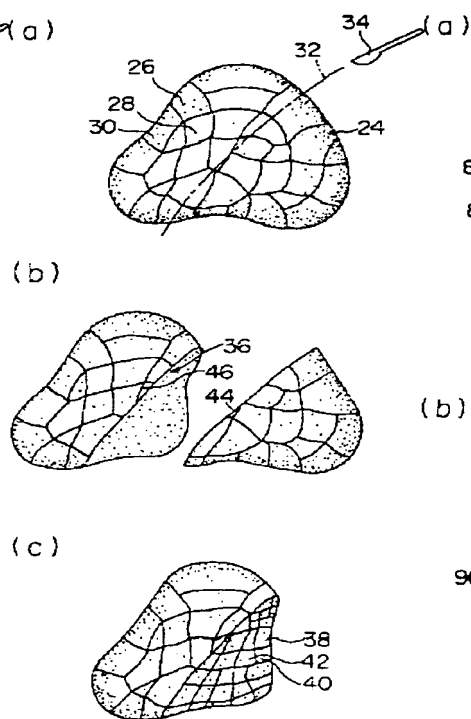
【図 4】



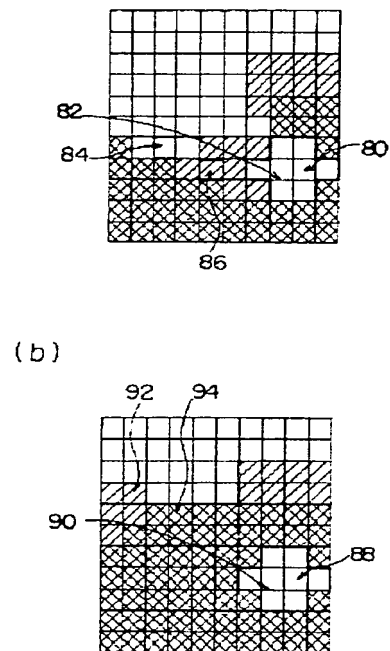
【図 2】



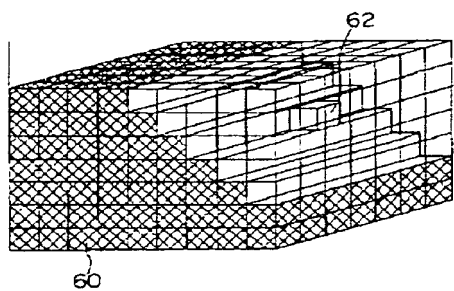
【図 3】



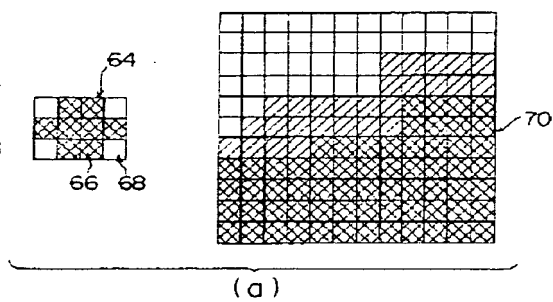
【図 7】



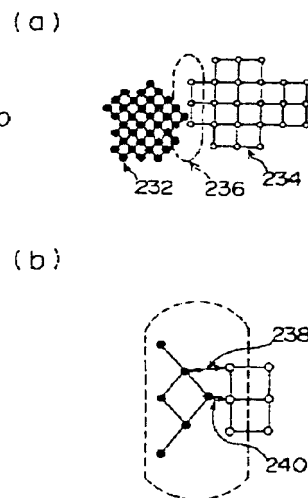
【図 5】



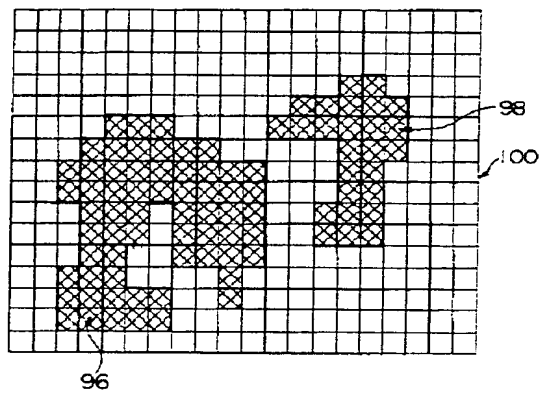
【図 6】



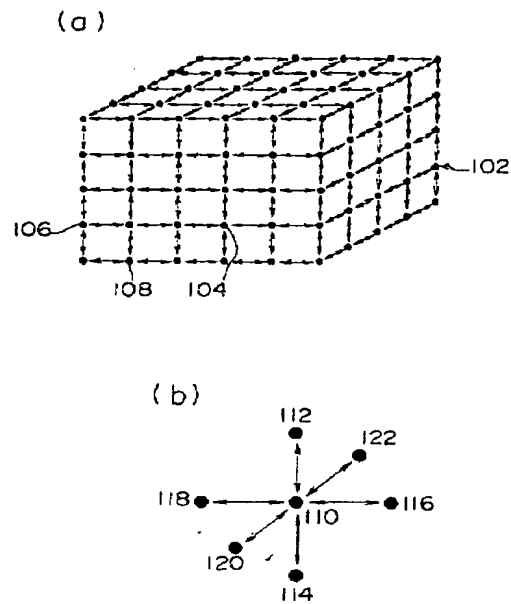
【図 16】



【図 8】



【図 9】

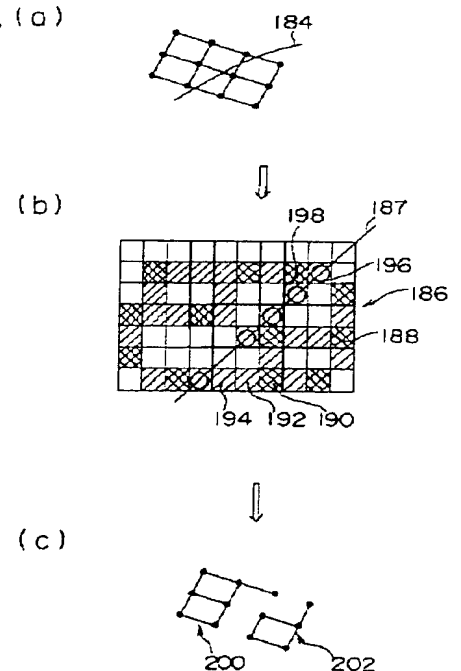


【図 10】

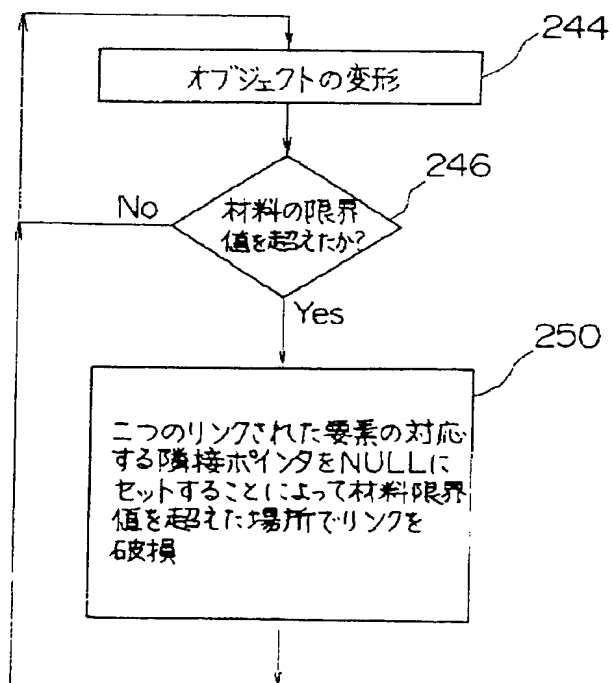
```

typedef struct 3DElement
101 char type;           /*element type for material properties, object ID, etc*/ (a)
103 char r,g,b;         /*element color*/
105 float x,y,z         /*element position*/
    struct 3DElement *right, *left, *top, *bottom, *back, *front;
107 /*pointers to neighboring elements*/
  
```

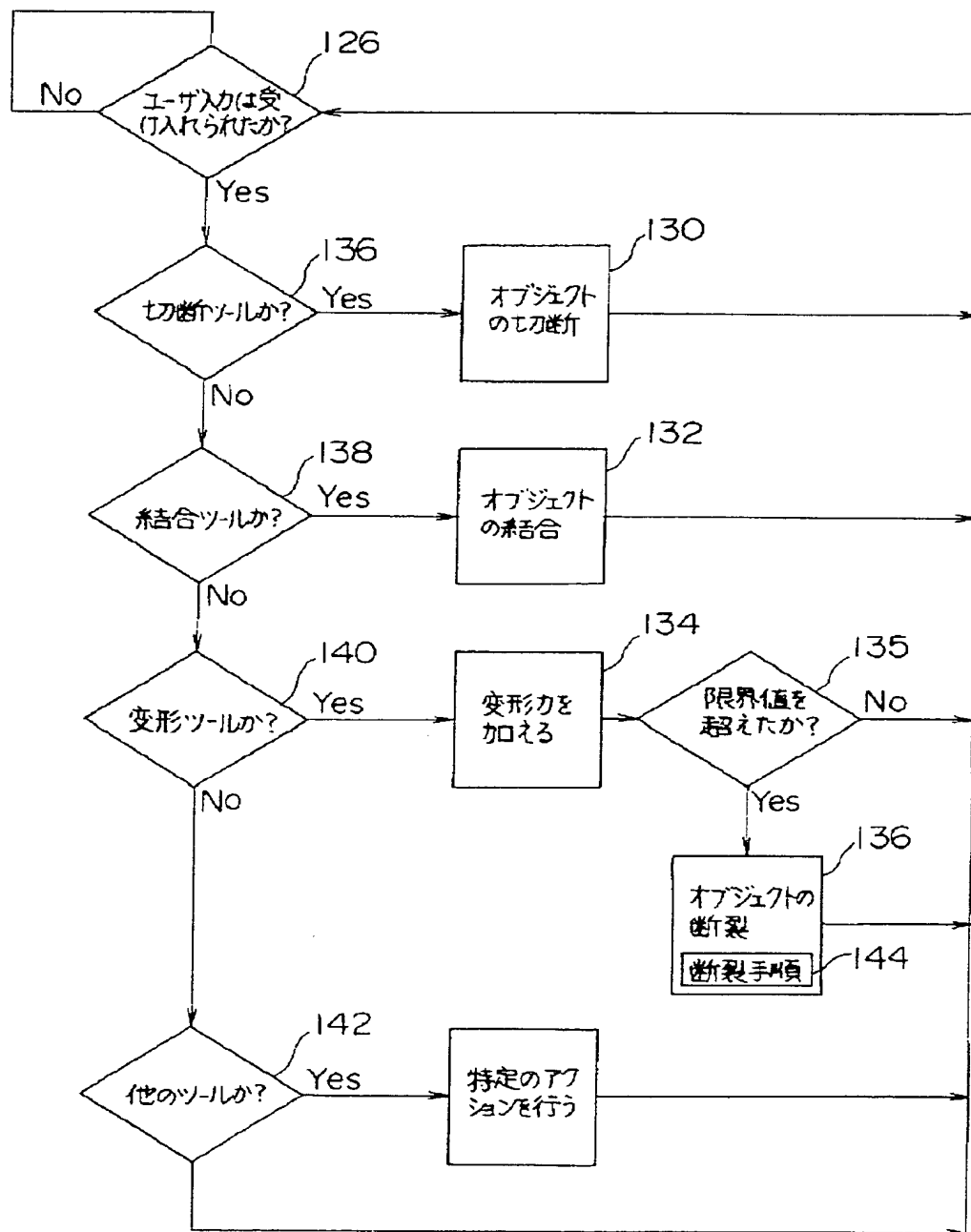
【図 14】



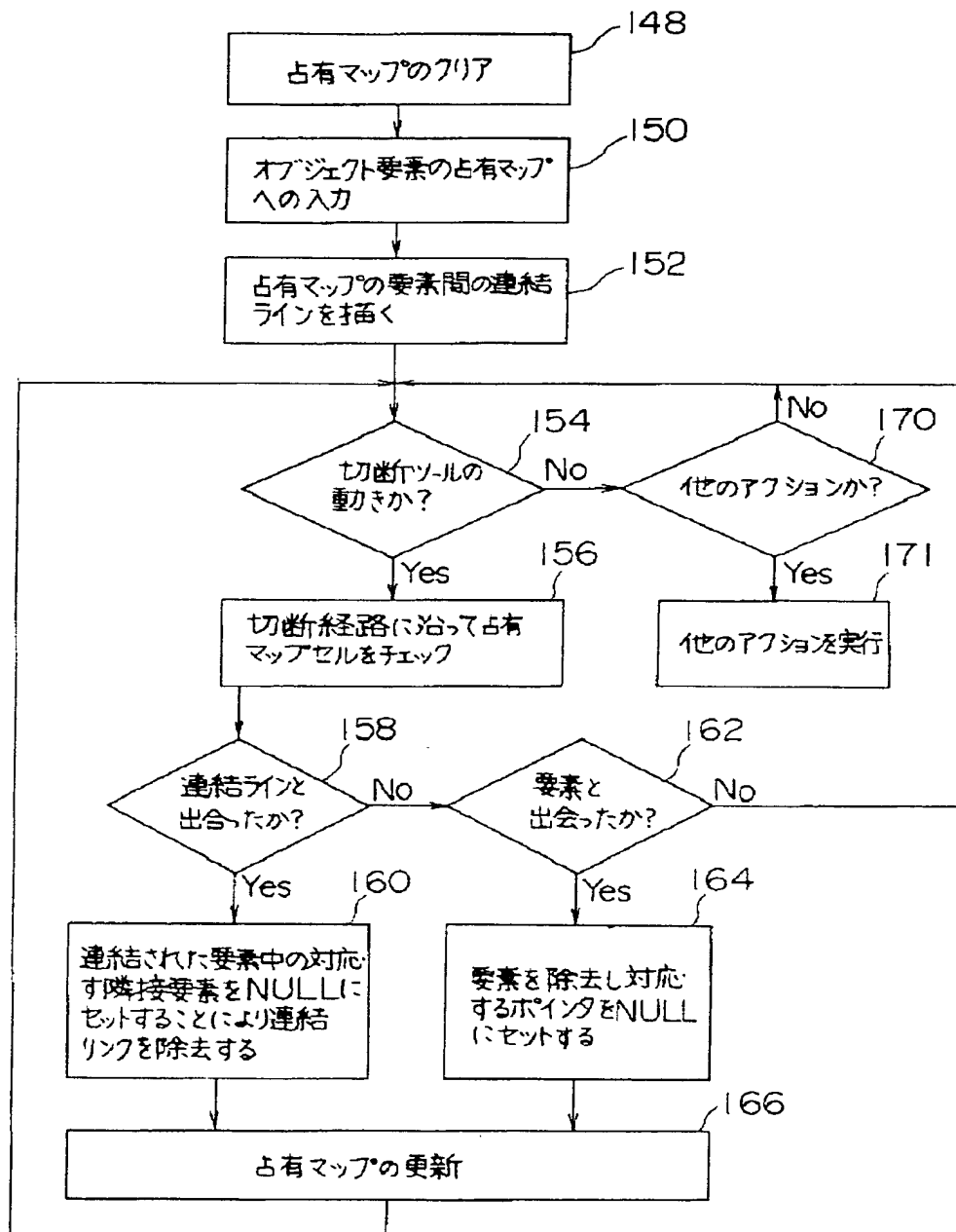
【図 17】



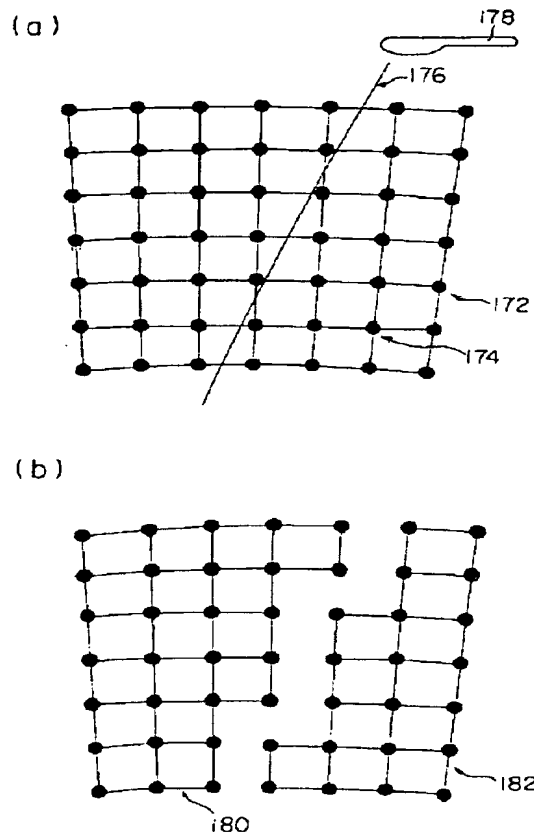
【図 11】



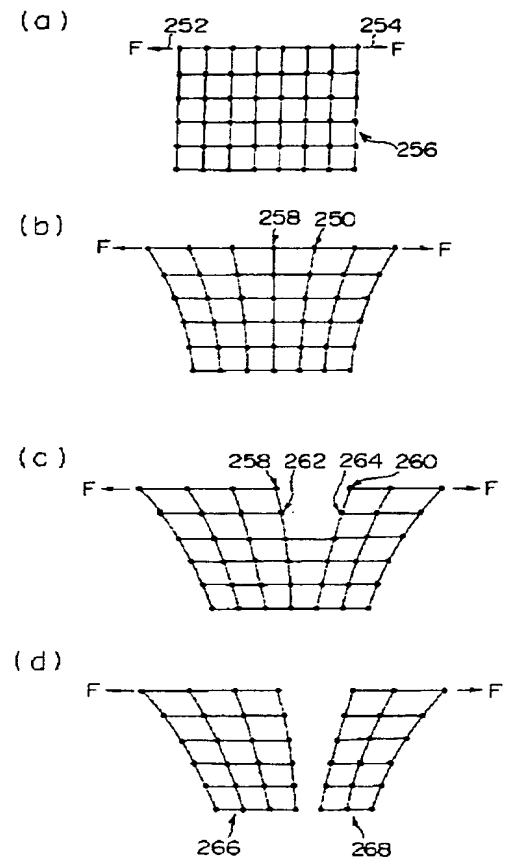
【図 12】



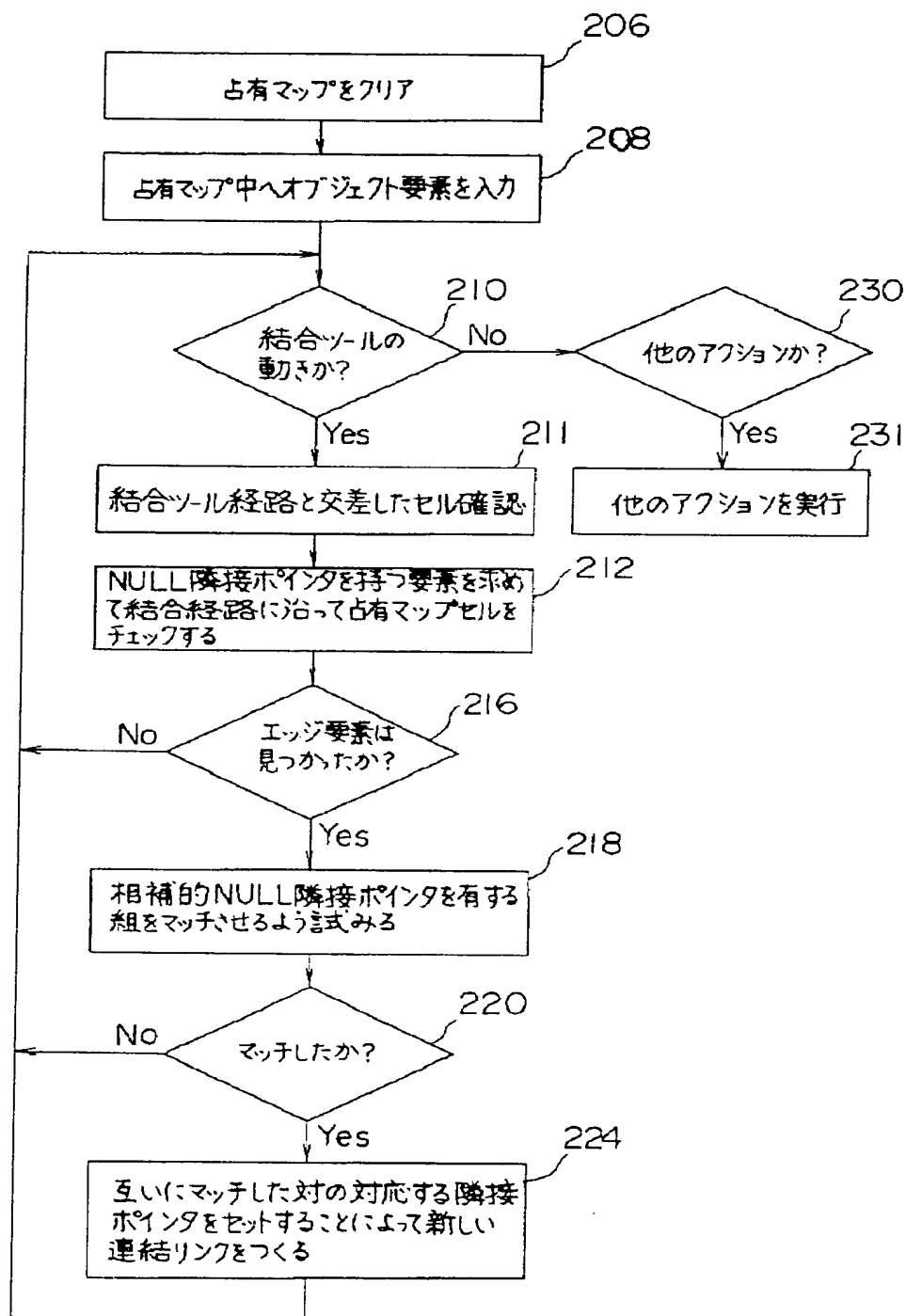
【図 13】



【図 18】



【図 15】



(71)出願人 5 9 7 0 6 7 5 7 4

ミツビシ・エレクトリック・インフォメイ
ション・テクノロジー・センター・アメリ
カ・インコーポレイテッド

MITSUBISHI ELECTRIC
INFORMATION TECHNO
LOGY CENTER AMERICA
, INC.

アメリカ合衆国、マサチューセッツ州、ケ
ンブリッジ、ブロードウェイ 201
201 BROADWAY, CAMBR
IDGE, MASSACHUSETTS
02139, U. S. A.

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

This Page Blank (uspto)